

ZUR FRAGE DER DOPPELTEN EFFERENTEN INNERVATION DER QUERGESTREIFTEN MUSKULATUR BEIM MENSCHEN

Lehrstuhl für Anatomie am medizinischen Institut Sofia

(Dir.: Prof. Dr. D. KADANOFF)

VON

D. KADANOFF u. I. SPASSOWA

Mit der Erforschung der efferenten Innervation der Skelettmuskulatur bei Tieren beschäftigt man sich schon seit 1841, als DOYÈRE seine Untersuchungen über die *Tardigrada* (Bärtierchen) veröffentlichte. Die Arbeiten der späteren Autoren — ROUGET (1862), W. KÜHNE (1886), DOGIEL (1891), RETZIUS (1892), HUBER (1897), CAJAL (1911) — sind demselben Problem gewidmet. Diese Forscher stellten in ihren morphologischen Untersuchungen fest, daß die efferente Innervation der quergestreiften Muskulatur bei den Wirbeltieren durch markhaltige Nervenfasern cerebrospinaler Herkunft verwirklicht wird. Diese Nervenfasern endigen an den Muskelfasern mit motorischen Endplatten (plaques motrices). Sowohl nach den Autoren, die ältere Methoden anwandten (Goldchlorid und Methylenblau), als auch nach jenen, die sich modernerer Imprägnationsmethoden mit Silbernitrat bedienten, liegen diese Nervenendigungen in den Platten hypolemmal. An ihrer Kontaktstelle mit dem *Sarcoplasma* der Muskelfaser zeigt letztere eine Verwaschung der Querstreifung, und man beobachtet eine Anhäufung von runden Kernen.

BOEKE stellte 1913 auf Grund von Untersuchungen über die efferente Innervation der quergestreiften Muskulatur bei manchen Säugetieren (Katze, Igel, Kaninchen) fest, daß sie außer durch dicke markhaltige, auch durch dünne marklose Nervenfasern verwirklicht wird, die zusammen oder nah beieinander ziehen und im Gebiet der motorischen Endplatten selbst endigen. Folglich besitzt die quergestreifte Muskulatur, nach BOEKE, eine doppelte efferente Innervation — eine cerebrospinale und eine autonome (vegetative). Zum Beweise dessen führte er Versuche an Katzen aus, denen er den *N. trochlearis* durchschnitt und die danach eintretenden degenerativen Veränderungen der Nervenfasern und ihre Endigungen im *N. obliquus bulbi superior* untersuchte. Drei Tage nach dem Durchschneiden des Nerven stellte es fest, daß die markhaltigen Nervenfasern und ihre Terminalverzweigungen in den motorischen Endplatten degenerierten, die dünnen marklosen Fasern aber erhalten bleiben. Letztere endigen an denselben Stellen, wo man Reste der degenerierten (fragmentierten) Nerven Elemente der motorischen Endplatten und die unverändert gebliebenen runden Kerne beobachtet. Versuche mit ähnlichen Resultaten führte BOEKE 1917—1919 auch an Igeln durch, indem er den *N. hypoglossus* durchschnitt und die Degeneration der Nervenfasern in den Zungenmuskeln untersuchte. Er erweiterte seine Untersuchungen 1922 auch auf Material von Schlangen (*Natrix natrix*) und stellte eine doppelte Innervation ihrer quergestreiften Muskulatur fest.

KEN KURE (1925) behauptet auf Grund eigener Beobachtungen, daß an der Bildung der motorischen Endplatten eine dünne marklose Nervenfasern beteiligt sei, die er als zusätzliche Faser von zweiter Art bezeichnet.

KIRSCHKE (1957) konnte bei der Untersuchung der Innervation der *Mm. bulbi externi* beim Menschen nur in vereinzelten Fällen dünne marklose Fasern (2 Art-vegetative) finden, die neben den Ästen der dicken markhaltigen Nervenfasern in den motorischen Endplatten endigen. Damit bestätigt er zum Teil die Auffassung BOEKE's von der doppelten Innervation einiger quergestreiften Muskeln auch beim Menschen.

Da über die doppelte Innervation der Muskelfasern immer noch unzureichende Angaben vorliegen, untersuchten wir die Rachen-, Augen- und Gesichtsmuskeln beim Menschen. Unser Material, das von 27 bis 75 Jahre alten Individuen stammt, wurde nicht später als einige Stunden nach dem Exitus entnommen und in 12 % neutralem Formalinlösung fixiert. Die Schnitte wurden auf dem Gefriermikrotom (Schnittstärke 50–70 μ) angefertigt und weiterhin nach der Pyridinmodifikation der Methode von BIELSCHOWSKY und nach der Methode von GROS bearbeitet.

Unsere Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Muskulatur in manchen Gebieten des Rachens, insbesondere des *Mesopharynx*, nämlich im oberen Teil der Rachenhinterwand eine reiche efferente Innervation besitzt. In zahlreichen Schnitten kann man etwa 20 bis 40 motorische Endplatten zählen. Auf den ersten Blick fällt schon ihre segmentale Lage auf, d. h. sie finden sich in einem Feld, während im übrigen Teil des betreffenden Schnittes nicht einmal Ner-



Abb. 1. Nervenfaserbündel und eine motorische Endplatte in der Muskulatur des *Mesopharynx*. Pyridinmodifikation der Silberimprägnationsmethode von GROS. Mikrophotographie. Zeiß, Obj. 20, Ok. 10.

venfasern zu sehen sind. Mustert man die von einem und demselben Bezirk der Rachenhinterwand stammenden Schnitte, so stellt man fest, daß die motorischen Endplatten in der ganzen Dicke der Muskelschicht in einem gut abgegrenzten Streifen liegen.



Abb. 2. Eine motorische Endplatte, deren Nervelemente nur von einer dicken markhaltigen Nervenfasern gebildet werden. Es ist keine dünne marklose Nervenfasern vorhanden, die in derselben motorischen Endplatte endigen soll. Muskulatur des *Mesopharynx*. Pyridinmodifikation der Silberimprägnationsmethode von GROS. Mikrophotographie. Zeiß, Ob. 40, Ok. 8.

In jedem der erwähnten reich innervierten Bezirke beobachtet man, sogar bei kleiner Vergrößerung, zahlreiche Bündel stark- und mittelkalibriger markhaltiger Nervenfasern. Sie ziehen fast parallel oder schräg zu den Muskelfasern und teilen sich in dünnere sekundäre und tertiäre Bündel auf. Ihre Nervenfasern ziehen — verzweigt oder unverzweigt — steil zu den einzelnen Muskelfasern und enden in ihnen in den motorischen Endplatten (Abb. 1). Die Nervelemente jeder motorischen Endplatte bestehen aus mehreren Terminalästchen — meist 8—10 an der Zahl, die in der Platte als Knöpfchen- oder ösen-

förmige Verdickungen endigen. Diese Terminalästchen werden von einer der Nervenfasern (oder einem Ast derselben) gebildet, die in der Nähe der Muskelfasern ihre Markscheide verliert und sich in solche Ästchen aufteilt (Abb. 2). An der Stelle der neuromuskulären Synapse ist die Querstreifung der Muskel-

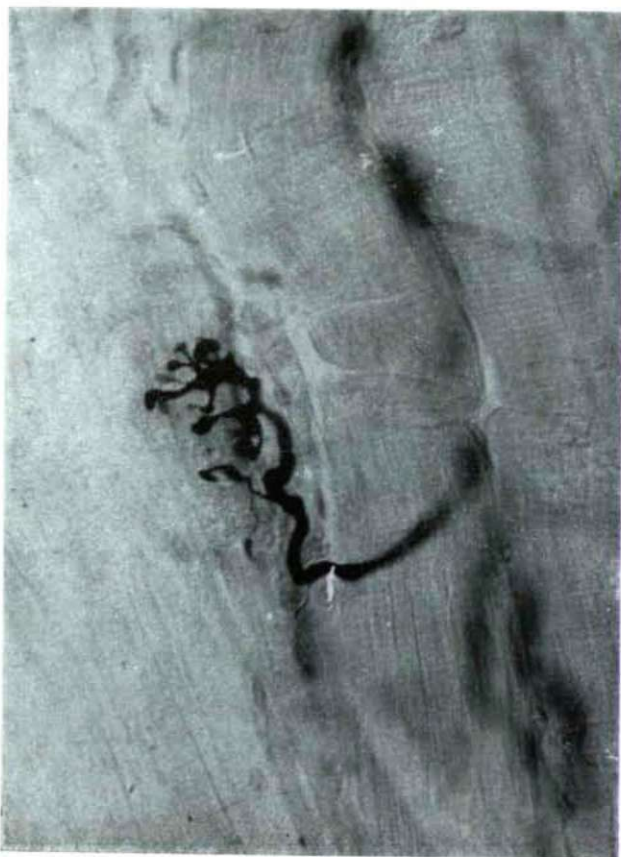


Abb. 3. Eine motorische Endplatte, deren Nervelemente nur von einer dicken markhaltigen Nervenfasern ohne Teilnahme einer dünnen marklosen Nervenfasern gebildet werden Muskulatur des *Mesopharynx*. Pyridinmodifikation der Silberimprägnationsmethode von GROS. Mikrophotographie. Zeiß, Obj. 40, Ok. 8.

fasern kaum erkennbar, und man beobachtet die charakteristische Anhäufung von runden Kernen (Abb. 3).

In der Muskulatur des menschlichen Rachens kommen, wenn auch seltener außer motorischen Endplatten noch die sogenannten *Terminaisons en grappe* (*terminazioni a grappolo* — STEFANELLI, 1912) vor. Sie werden ebenfalls von stark- oder mittelkalibrigen markhaltigen Nervenfasern gebildet, die anfänglich parallel zu den Muskelfasern ziehen. An den Stellen, wo sie sie erreichen, teilen sie sich in meist nicht ganz dünne Terminalästchen auf. Diese liegen an

der betreffenden Muskelfasern dicht und parallel zueinander, manchmal auch fast senkrecht zur ihrer Länge indem sie an ihr in Knöpfchen- oder ösenförmige Verdickungen auslaufen. (Abb. 4). Auch bei den *Terminaisons en grappes* ist die Querstreifung der Muskelfasern nicht sehr deutlich.



Abb. 4. *Terminaisons en grappe* an einer Muskelfaser der Muskulatur des *Mesopharynx*. Pyridinmodifikation der Silberimprägnationsmethode von Gros. Mikrophotographie. Zeiß, Obj. 40, Ok. 8.

In den Präparaten mit gelungenster und stärkster Imprägnation sind auch bei sorgfältigster Beobachtung keine dünnen marklosen Nervenfasern feststellbar, die neben oder in der Nähe der dicken markhaltigen Fasern ziehen und zusammen mit ihnen in motorische Endplatten an den Muskelfasern endigen. Auch die dünnsten sekundären und tertiären Ästchen der markhaltigen Nervenfasern, die die Nerven Elemente der motorischen Endplatten bilden, sind weit dicker als die dünnen marklosen Nervenfasern, die, nach unseren Beobachtungen, die Blutgefäße begleiten und nahe an den Muskelfasern verlaufen. In der Tat ist in den Präparaten auch eine Verzweigung der markhaltigen Ner-

verfasern festzustellen. In diesen Fällen sind manche der zu den benachbarten Muskelfasern ziehenden Äste verhältnismäßig dünn, doch endigen auch sie in motorische Endplatten (Abb. 3). Die Stelle ihrer Abzweigung von den dickeren markhaltigen Nervenfasern ist deutlich erkennbar. Manchmal bilden diese

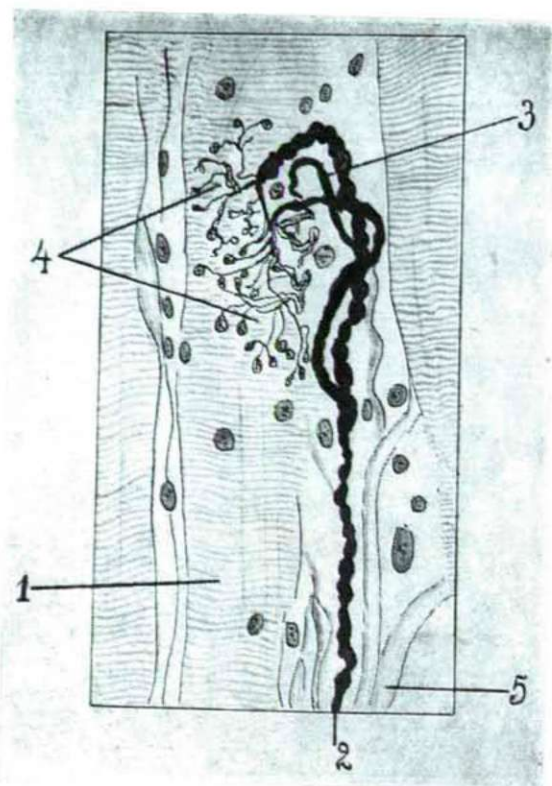


Abb. 5. Nervelemente einer motorischen Endplatte in einem Augenmuskel des Menschen, die von einer dicken markhaltigen Nervenfasern ohne Teilnahme einer dünnen markloser Nervenfasern gebildet sind, 1 — quergestreifte Muskelfaser, 2 — markhaltige Nervenfasern, 3 — terminal Ast, 4 — motorische Endplatte, 5 — Blutgefäße. Pyridinmodifikation der Silberimpregnationsmethode von BIELSCHOWSKY. Zeichnung. Leitz, Ölimmersion 1/12, Ok. 0.

Äste je zwei nah beieinanderliegende motorische Endplatten an ein und derselben Muskelfaser.

Die efferente Innervation der äußeren Augenmuskeln und der mimischen Muskulatur beim Menschen wird ebenfalls durch stark — oder mittelkalibrige markhaltige Nervenfasern verwirklicht. Sie ziehen meist schräg zu den Muskelfasern und bilden durch ihre dünneren Terminalästchen die Endigungen in den motorischen Endplatten (Abb. 5). In den Präparaten von diesen Muskeln kommen motorische Endplatten seltener vor als in den Präparaten von den Rachenmuskeln; dafür sind aber die sensiblen Nervenendigungen in ihnen zahlreicher (KADANOFF). Die Nervelemente aller motorischen Endplatten, die man in

den Präparaten beobachtet, werden von markhaltigen Nervenfasern verschiedener Dicke gebildet. Letztere sind von keinen dünnen marklosen Nervenfasern mit Endigungen in den Endplatten selbst begleitet. Die in den Präparaten vorkommenden Fasern dieser Art verlaufen gesondert von den markhaltigen Fasern und endigen zum Teil an den Muskelfasern in verschiedenen Abständen von den Stellen der motorischen Endplatten (Abb. 6 u. 7).

Diese von uns gemachten Beobachtungen an den Muskeln des Rachens und Augapfels und der mimischen Muskulatur beim Menschen weisen darauf hin, daß an der Bildung ihrer motorischen Endplatten nur markhaltige Nervenfasern beteiligt sind, denn in ihnen sind keine Endigungen von dünnen marklosen Fasern feststellbar.

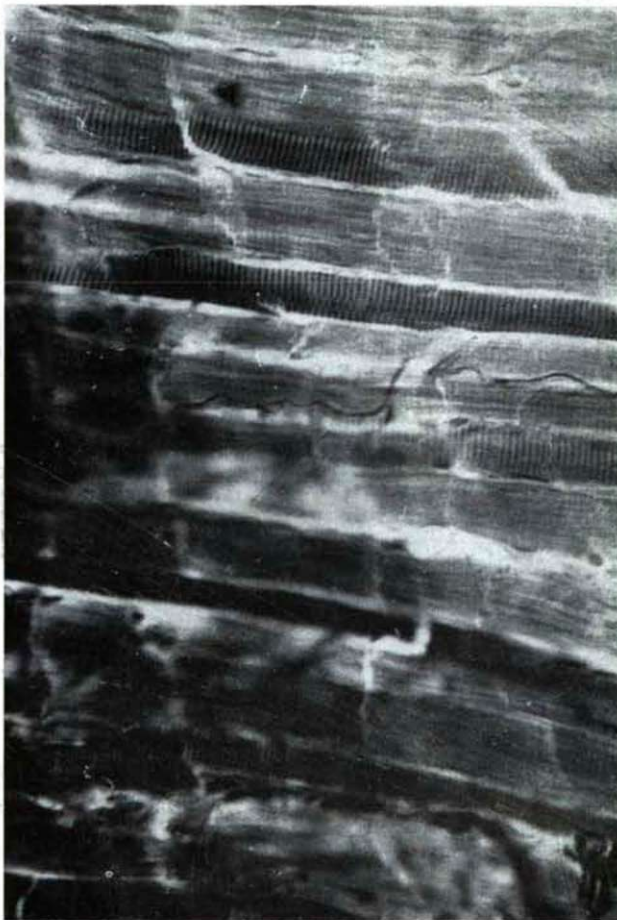


Abb. 6. Dünne marklose Nervenfasern in einem Augenmuskel des Menschen, die getrennt und selbständig von den dicken markhaltigen Nervenfasern verlaufen und endigen. Pyridinmodifikation der Silberimprägnationsmethode von BIELSCHOWSKY. Mikrophotographie. Zeiß, Ob. 20. Ok. 10.

Im Hinblick auf die Behauptungen von BOEKE, KEN KURÉ u. a. könnte man annehmen, daß bei manchen niederen Säugetieren die dünnen marklosen Fasern mit erwiesener Herkunft vom autonomen Bestandteil des Nervensystems die dicken markhaltigen Nervenfasern begleiten und mit ihnen zusammen in den motorischen Endplatten an den quergestreiften Muskelfasern endigen.

Beim Menschen aber wird die motorische Innervation der quergestreiften Muskulatur unserer Beobachtungen nach selbständig und unabhängig vom autonomen (vegetativen) Bestandteil des Nervensystems durch dessen cerebrospinale Komponente verwirklicht. Die vegetativen Nervenfasern endigen an den Muskelfasern in Form von Knöpfchen oder Ösen in verschiedenen großen Abständen von den motorischen Endplatten (Abb. 6 u. 7).



Abb. 7. Dünne marklose Nervenfasern in einem Augenmuskel des Menschen, die getrennt und selbständig von den dicken markhaltigen Nervenfasern verlaufen und endigen. Pyridinmodifikation der Silberimprägnationsmethode von BIELSCHOWSKY. Mikrophotographie. Zeiß. Obj. 20. Ok. 10.

Zusammenfassung

Auf Grund der Ergebnisse von Untersuchungen, die mit Hilfe der Pyridinmodifikationen der Silberimprägnationsmethoden von BIELSCHOWSKY und GROS über die Innervation der *Pharynx*-, Augen- und Gesichtsmuskeln durchgeführt wurden, haben die Autoren zum Unterschied von den Angaben von BOEKE (1913, 1927), und KEN KURÉ (1925) folgende Tatsachen festgestellt:

1) Die Nerven Elemente der motorischen Endplatten in den erwähnten Muskeln werden nur von dicken markhaltigen Nervenfasern ohne Teilnahme von dünnen marklosen (akzessorischen) Nervenfasern gebildet.

2) Die dünne marklosen Nervenfasern, die dem autonomen (vegetativen) Bestandteil des Nervensystems angehören, endigen auf den Blutgefäßen und an den Muskelfasern selbständig und in verschiedenem Abstand von dem motorischen Endplatten.

Literatur

- BOEKE, J.: Zur Innervation der quergestreiften Muskeln bei den Ophidien. Libro en honor R. y Cajal, Madrid, 1922.
- BOEKE, J.: Die morphologische Grundlage der sympathischen Innervation der quergestreiften Muskeln. Zeitschr. f. mikrosk.-anat. Forsch., Bd. 8, H. 3—4, S. 561, 1927.
- BOEKE, J., BARENNE, J. S. — The sympathetic innervation of the cross-striated muscles of the Vertebrates. Proc. roy. acad. of sc. Amsterdam, Vol. 21, p. 1227, 1919.
- CAJAL, R. y: Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés. Vol. I et II. Paris, 1909 et 1911.
- DOGIEL, A. S.: Methylenblautinktion der motorischen Nervenendigungen in den Muskeln der Amphibien und Reptilien. Arch. f. mikrosk. Anat., Bd. 33, S. 305, 1891.
- DOYÈRE, M.: Mémoire sur les Tardigrades. Ann. d. scienc. nat., Ser. 2, vol. 14, p. 346 — zit. nach Stöhr jun. in Handb. d. mikrosk. Anat. Bd. 4, I. Teil, 1928.
- HUBER, C.: Note of the structure of the motor nerve endings in the voluntary muscles. Amer. Journ. of Anat., vol. 1, Nr. 4, p. 520. 1897.
- KADANOFF, D., WASSILED, W., und MANOLOV, St.: Experimentelle morphologische Untersuchungen über die Nervenfasern und deren Endigungen in der quergestreiften Muskulatur. Compt. rend. d. l'Acad. bulg. d. Scienc., t. 12, Nr. 4, p. 365, 1959.
- KALLIUS, E.: Endigungen motorischer Nerven in der Muskulatur der Wirbeltiere. Ergebn. d. Anat. u. Entwickl.-gesch., Bd. 6, 26, 1896.
- KEN KURÉ.: Die morphologische Grundlage für die doppelte Innervation des quergestreiften Muskels. Zeitschr. f. d. ges. exper. Med., Bd. 46, S. 144, 1925.
- KIRSCHKE, W.: Die Innervation der Augenmuskulatur des Menschen. Zeitschr. f. mikrosk. — anat. Forsch., Bd. 57, 1951.
- KÜHNE, W.: Neue Untersuchungen über motorische Nervenendigungen. Zeitschr. f. Biol., N. F., Bd. 5, 1886.
- STEFANELLI, A. — La piastra motrice secondo le vecchia e le nuova vedute. Ann. di neurol., Fasc. 4, 1912.